



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 12 081 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 05 K 13/02**

⑳ Aktenzeichen: 100 12 081.4  
㉔ Anmeldetag: 14. 3. 2000  
㉓ Offenlegungstag: 29. 11. 2001

DE 100 12 081 A 1

㉑ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉒ Erfinder:  
Steegmüller, Bernd, 71711 Murr, DE; Schilling,  
Ulrich, Dr., 70567 Stuttgart, DE; Hoehn, Michael,  
85375 Neufahrn, DE

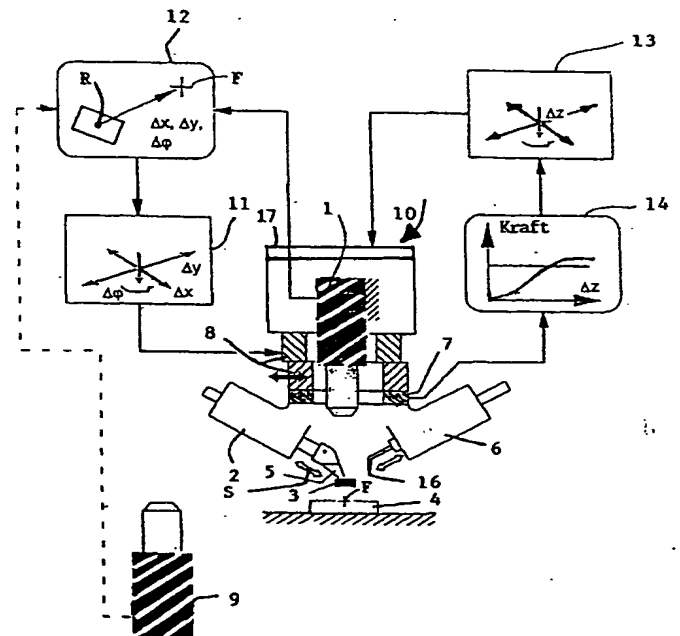
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 198 49 720 A1  
DE 198 26 555 A1  
JP 11-31 898 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Positionierung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum präzisen Positionieren eines Bauteils (3) auf einer Fügeposition (F) einer Montageebene (Substrat 4) mittels eines Greifers (5), der mittels eines Greiferantriebs (2) und eines Fein-Positionierantriebs (8) verstellbar ist, sowie mittels eines optischen Mess- und Bildverarbeitungssystems (1, 9-13) zur Ermittlung der Fügeposition (F) und der Bauteilposition (R) des vom Greifer gehaltenen Bauteils, wobei die Fügeposition (F) und die Bauteilposition (R) oder eine auf das Bauteil bezogene Referenzposition ( $R_1$ ,  $R_2$ ) sequentiell von einem Werkzeugmessobjektiv (1) und einer CCD-Kamera des optischen Messsystems abgebildet und aufgenommen werden und aus den aufgenommenen Bildern mittels digitaler Bildverarbeitung eine Stellgröße für eine durch den Greifer (2) auszuführende Positionskorrektur gewonnen wird. Insbesondere bei Positionier- bzw. Montageaufgaben, bei denen eine Bauteilmarkierung (R) auf dem Bauteil (3) für das Messobjektiv (1) sichtbar, eine Fügepositionsmarkierung (F) auf dem Substrat (4) jedoch nicht sichtbar ist, wird mit dem Messobjektiv (1) zuerst das Substrat (4), dann das Bauteil (3) vermessen, wobei sich während der Bildaufnahme des Substrats (4) der Greifer (5) mit dem Bauteil (3) außerhalb des Sichtfelds des Messobjektivs (1) befindet. Die aufgenommene Position des Substrats (4) im Bildfenster wird in einem Speichersystem gespeichert. Nach der Bildaufnahme des Substrats (4) verändert sich die Position des ...



DE 100 12 081 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein automatisches Verfahren und eine Vorrichtung zum präzisen Positionieren eines Bauteils auf einer Fügeposition einer Montageebene mittels eines Greifers, der mittels eines Greiferantriebs und eines Fein-Positionierantriebs verstellbar ist sowie mittels eines optischen Mess- und Bildverarbeitungssystems zur Ermittlung der Fügeposition und der Bauteilposition des vom Greifer gehaltenen Bauteils, wobei die Fügeposition und die Bauteilposition oder eine auf das Bauteil bezogene Referenzposition sequentiell von einem Werkzeugmessobjektiv und einer CCD-Kamera des optischen Messsystems abgebildet und aufgenommen werden und aus den aufgenommenen Bildern mittels digitaler Bildverarbeitung eine Stellgröße für eine durch den Greiferantrieb auszuführende Positionskorrektur gewonnen wird.

[0002] Die hochgenaue Montage von Mikrosystemen, beispielsweise für die Kommunikationstechnik, erfordert den Einsatz automatischer Justier- bzw. Positioniersysteme zum schnellen und präzisen Ausrichten kleiner Bauelemente mit Abmessungen im Millimeter- und Submillimeterbereich in Bezug auf eine Montageebene, die durch ein Substrat gebildet ist. Manuelle Positionierverfahren und -vorrichtungen genügen den hohen Anforderungen bezüglich der Genauigkeit und der Geschwindigkeit nicht mehr.

[0003] Bei der Positionierung von Mikrobauteilen auf ein Substrat mit einem ein optisches Mess- und Bildverarbeitungssystem aufweisenden Bestückungsautomaten kann häufig eine auf dem Substrat angebrachte Referenzmarke, Referenzstrukturen oder mehrere Referenzmarken oder -strukturen für die Messoptik während der Positionierung des Bauteils verdeckt sein. Zum anderen kommt es vor, dass in der Fügeposition sowohl die Referenzstrukturen des Bauteils wie auch die des Substrats für die Messoptik verdeckt sind. Dieser Fall tritt z. B. bei der Flip-Chip-Montage auf, bei der die Bauelemente mit der aktiven, strukturierten Seite nach unten (face down) auf das Substrat positioniert werden müssen. Nicht immer weisen Bauteil und Substrat speziell aufgetragene Referenzmarken auf. In vielen Fällen erfolgt die Justage anhand von funktionalen Strukturen, die sich auf dem Bauteil und dem Substrat befinden.

[0004] Die im Stand der Technik vorgeschlagenen Verfahren (siehe z. B. DE 42 22 283 C1, DE 44 16 845 C2, DE 195 34 963 C1, DE 195 36 005 A1) enthalten keine praktikablen Lösungen wie die oben genannten Probleme bei der Positionierung mit verdeckter Bauteile- und/oder Substratmarkierung vermieden werden könnten.

[0005] Aufgaben und Vorteile der Erfindung

[0006] Demgemäß ist es Aufgabe der Erfindung, ein hochpräzises Positionierverfahren und eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung anzugeben, die mit Hilfe einer optischen Aufnahme und einer Bildverarbeitung eine positionsgeregelte Feinpositionierung oberflächenmontierbarer Bauteile (Chips) auf einem Substrat auch dann durchführen können, wenn das Bauteil in der Justageposition die Referenzmarken des Substrats für die Bildaufnahme durch die Messoptik verdeckt oder wenn in der Justageposition die Referenzmarken des Bauteils und die Marken des Substrats für die Bildaufnahme des optischen Messsystems verdeckt sind, weil das Bauteil mit der aktiven, strukturierten Seite nach unten auf dem Substrat positioniert werden muss, wie bei der Flip-Chip-Montage.

[0007] Diese Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst.

[0008] Das erfindungsgemäße Positionierverfahren führt automatisch eine sequentielle Lageerkennung des Bauteils

und des Substrats und anschließend einen Abgleich der gemessenen Lagekoordinaten zur Ermittlung der relativen Lageabweichung zwischen dem Bauteil und dem Substrat mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems aus. Damit wird eine Stellgröße gewonnen, die eine iterative geregelte Lagekorrektur des Bauteils relativ zu der bezüglich des Substrats ortsfesten Messoptik durch einen Piezo-Feinpositionierantrieb des Montagewerkzeugs möglich macht.

[0009] Unter einer iterativen, geregelten Lagekorrektur wird hierbei verstanden, dass das Bauteil in mehreren Mess- und Korrekturzyklen relativ zu dem Substrat justiert wird. Hierbei wird nach einer Lagekorrektur mit dem Piezo-Feinpositionierantrieb die verbleibende Restabweichung zwischen dem Bauteil und dem Substrat durch eine wiederholte Bildaufnahme und -auswertung bestimmt und die Position des Bauteils ggf. erneut nachkorrigiert, bis die geforderte Ablagegenauigkeit erreicht ist. Auf diese Weise ist es möglich, das Bauteil in einem iterativen Justagevorgang - mit wiederholter Positionsmessung und -rückführung mittels Bildverarbeitung - schrittweise und mit hoher Genauigkeit der Sollposition über dem Substrat zuzustellen.

[0010] Dieses Verfahren wird durch eine entsprechende Vorrichtung in einem sensor- und aktorbasierten Roboterwerkzeug umgesetzt, das trotz hoher Anforderung an die Montagegenauigkeit mit einfachen und flexiblen Handhabungsgeräten (z. B. Scara-Roboter) zu Gunsten von Kostenvorteilen gegenüber einem speziellen Präzisionspositioniersystem verwendet werden kann.

[0011] Ein die obige Aufgabe lösendes erfindungsgemäßes Positionierverfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass A) das Roboterwerkzeug mit dem integrierten Messobjektiv durch das Handhabungsgerät in der Bildaufnahmeposition über dem Substrat vorpositioniert wird, B) ein Bild des Fügeortes auf dem Substrat mit dem Werkzeugmessobjektiv aufgenommen wird, wobei sich der Greifer mit dem daran gehaltenen Bauteil außerhalb des Sichtfeldes des Werkzeugmessobjektives befindet, C) die Positionskoordinaten des Substrates durch Auswertung des in Schritt B aufgenommenen Bildes mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems ermittelt und abgespeichert werden, D) nach der Bildaufnahme des Fügeortes die Position des Werkzeugmessobjektives gegenüber dem Fügeort der Montageebene nicht mehr verändert wird, E) zur Messung der Bauteilposition bzw. der Bauteilreferenzposition das vom Greifer gehaltene Bauteil mit einem Greiferantrieb in das Sichtfeld des Werkzeugmessobjektives gebracht wird, F) bei ruhendem Greifer ein Bild zur Ermittlung der Bauteilposition bzw. die Bauteilreferenzposition aufgenommen und ausgewertet wird, G) eine Stellgröße durch Vergleich der im Schritt F gemessenen Bauteilkoordinaten mit den im Schritt C gespeicherten Positionskoordinaten des Substrats gewonnen wird und H) die Positionskorrektur mit der gewonnenen Stellgröße durch Verschiebung des am Greifer gehaltenen Bauteils relativ zu dem zur Fügeposition der Montageebene ortsfesten Werkzeugmessobjektiv durch den auf den Greifer einwirkenden Feinpositionierantrieb des Roboterwerkzeugs ausgeführt wird.

[0012] Um eine hohe Montage- bzw. Positionsgenauigkeit zu erreichen, werden bei der iterativen geregelten Lagekorrektur die Schritte F, G und H solange wiederholt, bis die geforderte Positionsgenauigkeit des Bauteils bezüglich der Fügeposition auf dem Substrat erreicht ist.

[0013] Für den Fall, dass in der Justageposition die Markierung des Bauteils und gegebenenfalls auch die Markierung(en) des Substrats für die Bildaufnahme verdeckt sind, weil das Bauteil mit der aktiven, strukturierten Seite nach unten auf dem Substrat montiert werden muss, wie bei der Flip-Chip-Montage, schlägt das erfindungsgemäße Positionierverfahren vor, in einem ersten Schritt A) zuerst die Posi-

tion des Bauteils relativ zu Bauteil-Referenzmarken auf dem Greifer mit einem zusätzlichen Hilfsmessobjektiv des optischen Messsystems und dann die Fügeposition des Substrats mit dem Werkzeugmessobjektiv zu messen und ferner in Schritt C) die Bauteilposition relativ zur Fügeposition durch Vermessen der Bauteil-Referenzmarken auf dem Greifer mittels des Werkzeugmessobjektivs indirekt zu messen.

[0014] Für eine übliche Positionierung eines Bauteils in horizontaler Ebene kann die Messrichtung des Werkzeugmessobjektivs von oben nach unten und die des Hilfsmessobjektivs von unten nach oben gerichtet sein.

[0015] Eine zur automatischen Durchführung des erfindungsgemäßen Positionierverfahrens eingerichtete Vorrichtung (Roboterwerkzeug) wird von einem Handhabungsgerät, z. B. einem Industrieroboter geführt und ist dadurch gekennzeichnet, dass der Greiferantrieb und wenigstens das Werkzeugmessobjektiv Komponenten an einem Werkzeuggrundkörper sind, der weiterhin einen Feinpositionierantrieb zur Verstellung des Greifers bei der Lagekorrektur in den ebenen Koordinaten  $x$  und  $y$  und für eine Verdrehung des Greifers (Drehwinkel  $\phi$ ) um die Fügeachse (die  $z$ -Achse) aufweist.

[0016] Der Greiferantrieb kann durch einen einfach gebauten Bewegungsantrieb, z. B. durch einen am Greifer angreifenden Pneumatikzylinder und eine Linearführung des Greifers realisiert sein.

[0017] Der Feinpositionierantrieb ist bevorzugt ein Piezoantrieb, der sich aufgrund seiner hohen Stellgenauigkeit besonders für die erfindungsgemäßen Feinpositionier- und Justageaufgaben eignet und außerdem kostengünstig zu realisieren ist.

[0018] Die Fügebewegung in der  $z$ -Richtung wird zweckmäßig durch die  $z$ -Achse des Handhabungsgerätes durchgeführt. Optional kann aber auch der Werkzeuggrundkörper einen regelbaren linearen Antrieb, z. B. einen Tauchspulenantrieb, zur Durchführung der Fügebewegung in der  $z$ -Richtung und/oder für eine Fokussierbewegung des Werkzeugmessobjektivs enthalten.

[0019] Weiterhin weist der Werkzeuggrundkörper vorteilhafterweise einen Kraftsensor für die Kraftüberwachung und -regelung der Fügebewegung in der  $z$ -Richtung auf. Mit Hilfe des Kraftsensors läßt sich die Fügekraft beim Aufsetzen des Bauteils auf das Substrat überwachen und die Fügebewegung in der  $z$ -Richtung positionsunabhängig beim Erreichen einer geforderten bzw. zulässigen Prozesskraft beenden. Die Kraftüberwachung ist notwendig für die Montage sehr empfindlicher Bauelemente und die Einstellung einer definierten Verbindungsmitteldicke (Klebstoff, Lot) zwischen dem Bauteil und dem Substrat.

[0020] Bevorzugt ist der Werkzeuggrundkörper so gestaltet, das über jeweils einem Greiferantrieb verschiedenartige montagefall- und/oder bauteilspezifische Einzelwerkzeuge (z. B. bauteilspezifische Greifer, Dispenser oder Stempel für den Klebstoffauftrag etc.) anbringbar sind. Ein wechselweises Einbringen der Einzelwerkzeuge durch je einen Greiferantrieb in das Sichtfeld des Werkzeugmessobjektivs ermöglicht, dass alle Teilprozesse einer komplexen Montage, wie Klebstoffauftrag auf das Substrat und die Justage des Bauteils gegenüber dem Substrat, mit hoher Genauigkeit unter Kontrolle des Bildverarbeitungssystems durchgeführt werden können.

[0021] Der Greifer kann vorteilhafterweise als Sauggreifer ausgebildet sein. Aber auch andere Greiferprinzipien, wie z. B. ein mechanischer Zweibackengreifer, sind möglich.

[0022] Weitere vorteilhafte Merkmale sind der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Positionierverfahrens sowie einer zur

Durchführung desselben eingerichteten Vorrichtung zu entnehmen, wobei sich die Beschreibung auf die beiliegenden Zeichnungsfiguren bezieht.

## Zeichnung

[0023] Fig. 1 zeigt schematisch Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung, insbesondere den Aufbau eines Montagewerkzeugs und dessen Grundfunktionen;

[0024] Fig. 2 veranschaulicht ein erstes Beispiel des erfindungsgemäßen Positionierverfahrens für den Fall, wo eine auf dem Bauteil angebrachte Referenzmarkierung für das Sichtfeld des Werkzeugmessobjektivs sichtbar, jedoch eine die Fügeposition bezeichnende Markierung auf dem Substrat nach der Grobpositionierung nicht sichtbar ist.

[0025] Fig. 3 zeigt ein zweites Beispiel des erfindungsgemäßen Positionierverfahrens für den Fall, wo weder die Markierung auf dem Bauteil, da dieses mit der strukturierten, aktiven Seite nach unten auf dem Substrat montiert werden soll, noch die auf dem Substrat angebrachte Markierung der Fügeposition sichtbar sind.

[0026] Fig. 4 zeigt als perspektivische Teilschnittdarstellung den Aufbau eines bevorzugten Positionier- und Montagewerkzeugs, das den Werkzeuggrundkörper mit daran angebrachtem Greifer und einem Fügewerkzeug (Stempel für den Klebstoffauftrag) enthält und

[0027] Fig. 5 zeigt perspektivisch ein Ausführungsbeispiel des Greiferantriebs mit einem Sauggreifer in mehreren Varianten.

## Ausführungsbeispiele

[0028] In der Schemazeichnung der Fig. 1 enthält ein Werkzeuggrundkörper 10 eine darin integrierte Werkzeugmessoptik 1, einen Piezoantrieb 8, der zu einer Verstellung eines am Werkzeuggrundkörper 10 angebrachten Greiferantriebs 2 mit Greifer 5 in zueinander senkrechten Richtungen  $x$ ,  $y$  und zu einer Verdrehung desselben um eine auf der  $x$ - $y$ -Ebene senkrecht stehende Achse  $z$  um einen Winkel  $\Delta\phi$  eingerichtet ist.

[0029] Der Greiferantrieb 2 weist an seiner Spitze einen Sauggreifer 5 auf, der beispielsweise ein Bauteil 3 in einer Position oberhalb eines Substrats 4 hält. Ein Pfeil S deutet eine lineare Verschieberichtung des bevorzugt einen Pneumatikzylinder enthaltenden Greiferantriebs 2 an. Am Werkzeuggrundkörper 10 ist außerdem ein Montagemodul 6 befestigt, welches z. B. einen Klebestempel 16 aufweist. Konzentrisch um das Werkzeugmessobjektiv 1 liegt ein Kraftsensor 7 für die Kraftüberwachung und -regelung der Fügebewegung in  $z$ -Richtung. Mit 9 ist eine Hilfsmessoptik angedeutet, die für den Fall verwendet wird, wo eine die Bauteilposition angegebende Markierung R auf dem Bauteil 3 für die Werkzeugmessoptik 1 verdeckt ist.

[0030] Wie noch erwähnt werden wird, ist der Werkzeuggrundkörper 10 dazu eingerichtet, verschiedenartige montage- bzw. bauteilspezifische Greifer 5 und montageproblemspezifische Montagemodule 16 austauschbar zu halten und diese wechselweise durch je einen Bewegungsmechanismus in das Sichtfeld der Werkzeugmessoptik 1 zu bringen und durch den Piezoantrieb in der optischen Bildebene relativ zu Werkzeugmessoptik 1 zu manipulieren, um die Justage des Bauteils 3 mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens relativ zum Substrat unter direkter optischer Kontrolle mittels der (nicht gezeigten) Bildverarbeitung eines Robotersystems durchzuführen.

[0031] Die Ziffer 17 bezeichnet eine Schnittstelle zum Handhabungsgerät (z. B. Roboter). Die Funktionsblöcke 11-14 verdeutlichen schematisch die Funktionalitäten des

Montagewerkzeuges; der Block 12 die Lageerkennung der zu justierenden Strukturen des Fügeortes (F) und des gegriffenen Bauteils (R) in den ebenen Freiheitsgraden  $x$ ,  $y$  und  $\phi$ ; der Block 11 die Lagekorrektur mit dem Feinpositionierantrieb 8; der Block 14 die Fügekraftmessung, die zu einem Kraftanstieg bis zu einer voreinstellbaren Kraftschwelle beim Aufsetzen des Bauteils auf das Substrat durch die Fügebewegung in der  $z$ -Richtung führt und der Block 13 die Rückführung der gemessenen Fügekraft zur Kraftregelung der durch das Handhabungsgerät durchgeführten Fügebewegung in der  $z$ -Richtung.

[0032] Mit Hilfe der in Fig. 1 schematisch dargestellten Positioniervorrichtung lassen sich insbesondere die nachstehend beschriebenen Positionierfälle mit dem erfindungsgemäßen Positionierverfahren durchführen. Den einschlägigen Fachleuten ist jedoch ohne weiteres einsichtig, dass auch andersartige Positionier- und Fügeaufgaben mit der Vorrichtung lösbar sind.

[0033] Zunächst ist in Fig. 2 ein erstes Beispiel des erfindungsgemäßen Positionierverfahrens veranschaulicht, bei dem eine die Bauteilposition angegebende Markierung R auf dem Bauteil 3 für das Werkzeugmessobjektiv 1 sichtbar, jedoch in der in Fig. 2 rechts gezeigten Position eine die Fügeposition angegebende Markierung F auf dem Substrat 4 verdeckt ist.

[0034] Das in Fig. 2 veranschaulichte Positionierbeispiel wird erfindungsgemäß in folgenden Schritten ausgeführt:

1. erfolgt mit Hilfe des Werkzeugmessobjektivs 1, das hier das einzige Messobjektiv ist, eine sequentielle Bildaufnahme, zuerst des Substrats 4 mit der Markierung F, die die Fügeposition angibt, und anschließend des Bauteils 3 mit der Bauteilposition, die durch die Marke R angegeben ist (rechte Hälfte der Fig. 2).
2. Während der Bildaufnahme des Substrats 4 (linke Hälfte der Fig. 2) befindet sich der in Fig. 2 nicht gezeigte Greifer 2 mit dem Bauteil 3 außerhalb des Sichtfelds des Messobjektivs 1.
3. Die aufgenommene Position des Substrats mit der Fügeposition F wird mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems in einem (nicht gezeigten) Speicher gespeichert.
4. Nach der Bildaufnahme des Substrats 4 verändert sich die Position der Messoptik 1 nicht mehr gegenüber dem Substrat 4, d. h., dass das Werkzeugmessobjektiv 1 ortsfest gegenüber dem Substrat 4 ist.
5. Zur Vermessung des Bauteils 3 wird der (nicht gezeigte) Greifer mit dem Bauteil 3 durch den Greiferantrieb (Pneumatikzylinder) in das Sichtfeld des Werkzeugmessobjektivs 1 gebracht (Richtung S in Fig. 1).
6. Das Bauteil 3 mit der durch die Marke R angegebenen Position wird mit dem Werkzeugmessobjektiv 1 vermessen und die Position im Speicher gespeichert.
7. Durch Überlagerung der gespeicherten Positionswerte von Bauteil 3 und Substrat 4 wird eine Stellgröße für die Justierung bzw. Lagekorrektur bestimmt.
8. Die Justierung erfolgt als Lagekorrektur ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta \phi$ ) des Bauteils 3 relativ zu dem festgehaltenen Substrat 4 bzw. zu dem ortsfesten Messobjektiv 1.
9. Die Schritte 6–8 werden durch eine iterative, geregelte Lagekorrektur ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$  und  $\Delta \phi$ ) solange wiederholt, bis die erforderliche Justagegenauigkeit erreicht ist. Die unterbrochenen Pfeilsymbole L bezeichnen die mit der Feinpositionierung (Piezoantrieb 8) durchgeführte iterative geregelte Lagekorrektur, mit der das Bauteil 3 seine Fügeposition oberhalb des Substrats 4 mit der geforderten Genauigkeit einnimmt.

[0035] Da somit bei dem ersten Ausführungsbeispiel eine sequentielle Vermessung zuerst des Substrats 4 und dann des Bauteils 3 durch ein und dieselbe Messoptik 1 erfolgt, spielt es keine Rolle, dass (wie im rechten Teil der Fig. 2 gezeigt ist) das Bauteil 3 in seiner Justagelage die die Fügeposition angegebende Markierung F auf dem Substrat 4 verdeckt.

[0036] Fig. 3 veranschaulicht ein zweites Positionierbeispiel mit dem erfindungsgemäßen Verfahren für den Fall, dass die die Bauteilposition angegebende Markierung R verdeckt ist, da das Bauteil 3 mit der aktiven, strukturierten Seite nach unten auf dem Substrat 4 montiert wird (Flip-Chip-Technik) und dass zusätzlich die die Fügeposition angegebende Markierung F auf dem Substrat 4 verdeckt ist. Wie nachstehend ausgeführt wird, erfolgt eine indirekte Relativmessung anhand von Hilfs-Referenzmarken  $R_1$ ,  $R_2$ , die auf dem in der Fig. 3 nicht gezeigten Greifer angebracht sind und sowohl mit der Werkzeugmessoptik als auch mit der Hilfsmessoptik 9 erfassbar sind. Zunächst wird mit Hilfe des zusätzlichen Hilfsmessobjektivs 9 die Position des Bauteils 3, d. h. dessen Bauteilmarkierung (R) relativ zu den Hilfsmarken  $R_1$ ,  $R_2$  auf dem Greifer, vermessen und abgespeichert (Schritt I). Dann wird die Lage des Substrats 4 mit der die Fügeposition angegebenden Markierung F mit Hilfe des Werkzeugmessobjektivs 1 vermessen und abgespeichert (Schritt II). In einem weiteren Schritt III wird die Position des Bauteils 3 relativ zum Substrat 4 indirekt ermittelt, indem mit dem Werkzeugmessobjektiv 1 die Position der Hilfsmarkierungen  $R_1$  und  $R_2$  auf dem Greifer relativ zum Substrat 4 vermessen werden. Die iterative geregelte Lagekorrektur L erfolgt wiederum gegenüber der ortsfesten Werkzeugmessoptik 1.

[0037] Fig. 4 zeigt teilweise geschnitten eine perspektivische Darstellung des Aufbaus eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines Positionier- und Montagewerkzeugs, das den Werkzeuggrundkörper 10 mit der zentrisch darin eingesetzten Werkzeugmessoptik 1 und den an der Unterseite des Werkzeuggrundkörpers 10 angebrachten Greiferantrieb 2 mit dem Sauggreifer 5, das Montagemodul 6 mit einem gefederten Klebstoffstempel 16, den konzentrisch um die Werkzeugmessoptik 1 liegenden Ringkraftsensor 7 und den Piezo-Feinpositionierantrieb 8 enthält.

[0038] Bei dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Werkzeugmessobjektiv 1 ein telezentrisches Objektiv, dessen Sichtfeld z. B.  $2,5 \times 1,9$  mm beträgt und das mit einer koaxialen Auflichtbeleuchtung versehen ist. Mit dem Werkzeugmessobjektiv 1 ist eine 1/3 Zoll-Mikrokamera 20, bevorzugt des Typs TELI CS 4000 verbunden, die gegenüber der Roboter-z-Achse fest ist. Es sei erwähnt, dass Fig. 4 das Hilfsmessobjektiv 9 nicht zeigt, welches jedoch in ähnlicher Weise ausgeführt sein kann, wie das Werkzeugobjektiv 1, jedoch entgegengesetzt gerichtet ist. Das Positionier- und Montagewerkzeug weist unterhalb des  $x$ - $y$ -Piezoantriebs 8 eine Hubplatte 22, eine Membran 23, eine Druckkammer 24, einen Werkzeugträger 25, eine Säulenführung 26 mit Querkraftentkopplung für den Kraftsensor 7, ein Linearkugellager 27 und eine Roboterschnittstelle 28 bevorzugt zu dem Robotersystem SCARA der Robert Bosch GmbH auf. Der Ringkraftsensor 7 ist bevorzugt ein Kraftaufnehmer in Dehnungsmeßstreifentechnik. Die Hubplatte 22, die Membran 23 und die Druckkammer 24 bilden ein pneumatisches System zur Vorspannung des Kraftsensoren und zur Kompensation der am Werkzeugträger angreifenden Gewichtskräfte. Das an der Unterseite des Werkzeuggrundkörpers 10 angebrachte Greifersystem 2 weist außer dem Sauggreifer 5 mit den daran angebrachten Hilfs-Referenzmarkierungen  $R_1$ ,  $R_2$  (siehe Fig. 3), einen pneumatischen Bewegungsmechanismus (Greiferantrieb 30) 30 (10 mm) zum Einfahren des Greifers 2 in das Sichtfeld des

Werkzeugmessobjektivs 1 auf. Ferner ist das Greifersystem 2 höhenverstellbar gegenüber dem Werkzeugmessobjektiv zur Einstellung der Fokusslage.

[0039] Wie erwähnt, lassen sich an dem in Fig. 4 gezeigten Montagewerkzeug austauschbar mehrere verschiedene montageproblemspezifische Greifer 5 und Montagemodule 16 anbringen, die wechselweise durch je einen Bewegungsmechanismus (pneumatischer Greiferantrieb 30 und 6) in das Sichtfeld der Optik gebracht und durch den Piezoantrieb 8 in der optischen Bildebene relativ zur werkzeugfesten Optik manipuliert werden, um die Justage des Bauteils relativ zum Substrat unter direkter optischer Kontrolle mittels Bildverarbeitung durchzuführen, die in dem (nicht gezeigten) Robotersystem implementiert ist.

[0040] Die Gestalt des Greifers 5 hängt neben der Geometrie der Bauteile vom Montagefall ab. Im ersten oben anhand der Fig. 2 beschriebenen Fall, muss der Greifer 5 die Sicht auf die Markierung R des Bauteils 3 ermöglichen. Dies ist z. B. durch optische Transparenz im Bereich der Bauteilemarkierung R möglich, wobei bevorzugt ein Greifereinsatz aus Glas dient kann (Fig. 5).

[0041] Dagegen muss im zweiten anhand der Fig. 3 beschriebenen Einsatzfall das Bauteil 3 mit der Kamera der Hilfsmessoptik 9 relativ zu den an der Greiferspitze angebrachten Hilfsmarken  $R_1$ ,  $R_2$  vermessen werden. Diese Hilfs-Referenzmarken  $R_1$ ,  $R_2$  müssen so gestaltet sein, dass sie sowohl von der Hilfsmessoptik 9 als auch von der Werkzeugmessoptik 1 sichtbar sind.

[0042] Fig. 5 zeigt Gestaltungsmöglichkeiten für den Greifer mit Greiferantrieb für beide Montage- bzw. Positionierfälle.

[0043] Fig. 5A zeigt den in Fig. 4 an der Unterseite des Werkzeuggrundkörpers 10 montierten Greiferantrieb 2 mit Greifer in perspektivischer Darstellung. Der an der Vorderseite des Greiferantriebs 2 befindliche Sauggreifer 5 weist einen Pneumatikanschlussstutzen 35 zum Aufbringen eines Saugdrucks auf. Der Sauggreifer 5 ist mit dem pneumatischen Bewegungsmechanismus in Richtung der Längsachse des Greiferantriebs 2 linear beweglich (Pfeil S). Der pneumatische Bewegungsmechanismus 30 besteht aus einem Pneumatikzylinder 31 und einer Linearführung 33. Die Linearführung 33 weist eine Säulenführung und in Fig. 5 nicht zu erkennende Linearkugellager auf. Ein Anschlussstutzen 34 ist zum Anschluss einer Pneumatikleitung am Pneumatikzylinder 31 vorgesehen.

[0044] Ferner weist der Greiferantrieb 2 gemäß Fig. 5A einen Höheneinstellmechanismus 32 auf, mit dem die Fokusslage des Sauggreifers 5 bzw. des an seinem vorderen Ende gehaltenen Bauteils gegenüber dem Werkzeugmessobjektiv 1 und dem Hilfsmessobjektiv 9 einstellbar ist. In den Kreisen  $B_1$  und  $B_2$  sind zwei Varianten des Vorderendes des Sauggreifers 5 dargestellt, die für die oben bereits erwähnten beiden Einsatzfälle gestaltet sind. In der Detaildarstellung  $B_1$  weist das Vorderende des Sauggreifers 5 ein Sichtglas 55 und einen Glaseinsatz 56 mit einer nicht zu erkennenden Saugbohrung, so dass der Greifer für den Einsatzfall gemäß der Fig. 2 für das Werkzeugmessobjektiv 1 die Sicht auf die Bauteilmarkierung R ermöglicht.

[0045] Die Detailansicht  $B_2$  zeigt, dass am Vorderende des Sauggreifers 5 für den oben anhand der Fig. 3 beschriebenen Montage- bzw. Positionierfall, bei dem die Bauteilemarkierung R nicht für das Werkzeugmessobjektiv 1 sichtbar ist, ein Sichtfenster 51 für Hilfs-Referenzmarken  $R_1$ ,  $R_2$  und ein Greifereinsatz 52 vorgesehen sind, welcher die Hilfsmarken  $R_1$ ,  $R_2$  und eine Saugbohrung 53 enthält. Die Hilfsmarken  $R_1$ ,  $R_2$  müssen so gestaltet sein, dass sie sowohl für das Hilfsmessobjektiv 9 als auch für das Werkzeugmessobjektiv 1 sichtbar sind.

[0046] Das oben beschriebene Positionierverfahren sowie die zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung haben für Positionier- und Montageaufgaben, bei denen entweder das Bauteil bzw. der Chip in der Justageposition die Markierung F auf dem Substrat für die Bildaufnahme verdeckt, die Bauteilemarkierung jedoch jederzeit sichtbar ist oder wenn (im schwierigeren) Fall in der Justageposition die Bauteilmarkierung und auch die Markierung des Substrats für die Bildaufnahme verdeckt sind, weil das Bauteil mit der markierten Seite nach unten auf dem Substrat montiert werden muss, wie bei der Flip-Chip-Montage, eine hohe industrielle Relevanz, wie beispielsweise bei der automatisierten Justage oder Montage mikrooptoelektronischer Komponenten, wie Fotodioden und Laserdioden für optische Empfänger/Sender der Kommunikationstechnik.

[0047] Hier ermöglicht das erfindungsgemäße automatisierte Positionierverfahren durch die sequentiellen Bildaufnahmen des Bauteils und des Substrats sowie die geregelte iterative Lagekorrektur des Bauteils relativ zu der bezüglich des Substrats ortsfesten Messoptik durch einen Piezo-Feinpositionierantrieb, dass auch schwierige Positionier- bzw. Montageaufgaben mittels eines sensor- und aktorbasierten Roboterwerkzeugs lösbar sind, welches trotz hoher Anforderung an die Montagegenauigkeit mit einfachen aber flexiblen Handhabungsgeräten, wie einem Standard-SCARA-Roboter, zugunsten von Kostenvorteilen gegenüber einem Präzisionspositioniersystem verwendet werden kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum präzisen automatischen Positionieren eines Bauteils (3) auf einer Fügeposition (F) einer Montageebene (Substrat) (4) mittels eines Greifers (5), der mittels eines Greiferantriebs (2) und eines Fein-Positionierantriebs (8) eines Handhabungsgeräts (Roboterwerkzeug) verstellbar ist, sowie mittels eines optischen Mess- und Bildverarbeitungssystems (1, 9-13) zur Ermittlung der Fügeposition (F) und der Bauteilposition (R) des vom Greifer (5) gehaltenen Bauteils (3), wobei die Fügeposition (F) und die Bauteilposition (R) oder eine auf das Bauteil bezogene Referenzposition ( $R_1$ ,  $R_2$ ) sequentiell von einem Werkzeugmessobjektiv (1) des optischen Messsystems abgebildet und gemessen werden und in einem Speicher gespeicherte Abbildungen der gemessenen Positionen vom Bildverarbeitungssystem in Übereinstimmung gebracht und dabei eine Stellgröße für eine durch den Greiferantrieb (2) auszuführende Positionskorrektur gewonnen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

A) das Roboterwerkzeug mit dem integrierten Werkzeugmessobjektiv (1) durch das Handhabungsgerät in der Bildaufnahme-position über dem Substrat (4) vorpositioniert wird,

B) ein Bild der Fügeposition (F) auf dem Substrat mit dem Werkzeugmessobjektiv (1) aufgenommen wird, wobei sich der Greifer (5) mit dem daran gehaltenen Bauteil (3) außerhalb des Sichtfeldes des Werkzeugmessobjektivs (1) befindet,

C) die Positionskoordinaten des Substrates (4) durch Auswertung des in Schritt B aufgenommenen Bildes mit Hilfe des Bildverarbeitungssystems ermittelt und abgespeichert werden,

D) nach der Bildaufnahme des Fügeortes die Position des Werkzeugmessobjektivs (1) gegenüber dem Fügeort der Montageebene nicht mehr verändert wird,

E) zur Messung der Bauteilposition (R) bzw. der Bauteilreferenzposition ( $R_1$ ,  $R_2$ ) das vom Greifer

- (5) gehaltene Bauteil (3) mit dem Greiferantrieb (5) in das Sichtfeld des Werkzeugmessobjektivs (1) gebracht wird,
- F) bei ruhendem Greifer (5) ein Bild zur Ermittlung der Bauteilposition bzw. die Bauteilreferenzposition aufgenommen und ausgewertet wird,
- G) eine Stellgröße durch Vergleich der im Schritt F gemessenen Bauteilkoordinaten mit den im Schritt C gespeicherten Positionskoordinaten des Substrats gewonnen wird, und
- H) die Positionskorrektur mit der gewonnenen Stellgröße durch Verschiebung des am Greifer (5) gehaltenen Bauteils relativ zu dem zur Fügeposition (F) der Montageebene (4) ortsfesten Werkzeugmessobjektiv (1) durch den auf den Greifer (5) einwirkenden Feinpositionierantrieb (8) ausgeführt wird.
2. Positionierverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte F), G) und H) mit einer iterativen geregelten Laserkorrektur solange wiederholt werden bis eine geforderte Positionsgenauigkeit des Bauteils (3) zur Fügeposition (F) auf dem Substrat (4) erreicht ist.
3. Positionierverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn die Bauteilposition eine Markierung (R) an einer vom Werkzeugmessobjektiv (1) sichtbaren Seite des Bauteils (3) ist, in Schritt A) durch das optische Messsystem zuerst die Fügeposition (F) auf der Montageebene und dann die Bauteilposition gemessen wird.
4. Positionierverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass, wenn die Bauteilposition eine Markierung (R) an einer während der Positionierung vom Werkzeugmessobjektiv (1) nicht sichtbaren Seite des Bauteils (3) ist, in Schritt A) zuerst die Position des Bauteils (3) relativ zu Bauteil-Referenzmarken ( $R_1$ ,  $R_2$ ) auf dem Greifer (2) mit einem Hilfsmessobjektiv (9) des optischen Messsystems gemessen und dann die Fügeposition (F) der Montageebene mit dem Werkzeugmessobjektiv (1) gemessen wird, und dass in Schritt B) die Position des Bauteils (3) relativ zur Fügeposition (F) durch Vermessung der Bauteil-Referenzmarken ( $R_1$ ,  $R_2$ ) auf dem Greifer (2) mittels des Werkzeugmessobjektivs (1) indirekt gemessen wird.
5. Positionierverfahren nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, dass die Messrichtung des Werkzeugmessobjektivs (1) in einer Richtung, z. B. von oben nach unten und die des Hilfsmessobjektivs (9) entgegengesetzt gerichtet ist.
6. Vorrichtung zur automatischen Durchführung des Positionierverfahrens nach einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, dass der Greiferantrieb (2) und wenigstens das Werkzeugmessobjektiv (1) Komponenten an einem Werkzeuggrundkörper (10) sind, der weiterhin einen Feinpositionierantrieb (8) zur Verstellung des Greifers (2) bei der Lagekorrektur in den ebenen Koordinaten x und y und für eine Verdrehung des Greifers (5) (Drehwinkel 9) um die Fügeachse (z-Achse) aufweist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Feinpositionierantrieb (8) ein Piezoantrieb ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkzeuggrundkörper (10) außerdem einen Hubantrieb zur Verstellung des Greifers (2, 5) und des Werkzeugmessobjektivs (1) in der auf der x-y-Ebene senkrecht stehenden Fügerichtung (z-Richtung) aufweist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6-8, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkzeuggrundkörper (10) einen Kraftsensor (7) für die Kraftüberwachung und -regelung der Fügebewegung in z-Richtung aufweist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6-9, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkzeuggrundkörper (10) so gestaltet ist, dass über jeweils einem Greiferantrieb (5) verschiedenartige montagefall- und/oder bauteilspezifische Einzelwerkzeuge (z. B. bauteilspezifische Greifer, Dispenser oder Stempel für den Klebstoffauftrag etc.) anbringbar sind, wobei ein wechselweises Einbringen der Einzelwerkzeuge durch je einen Greiferantrieb (5) in das Sichtfeld des Werkzeugmessobjektivs (1) ermöglicht wird.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Greifer (5) als Sauggreifer ausgebildet ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

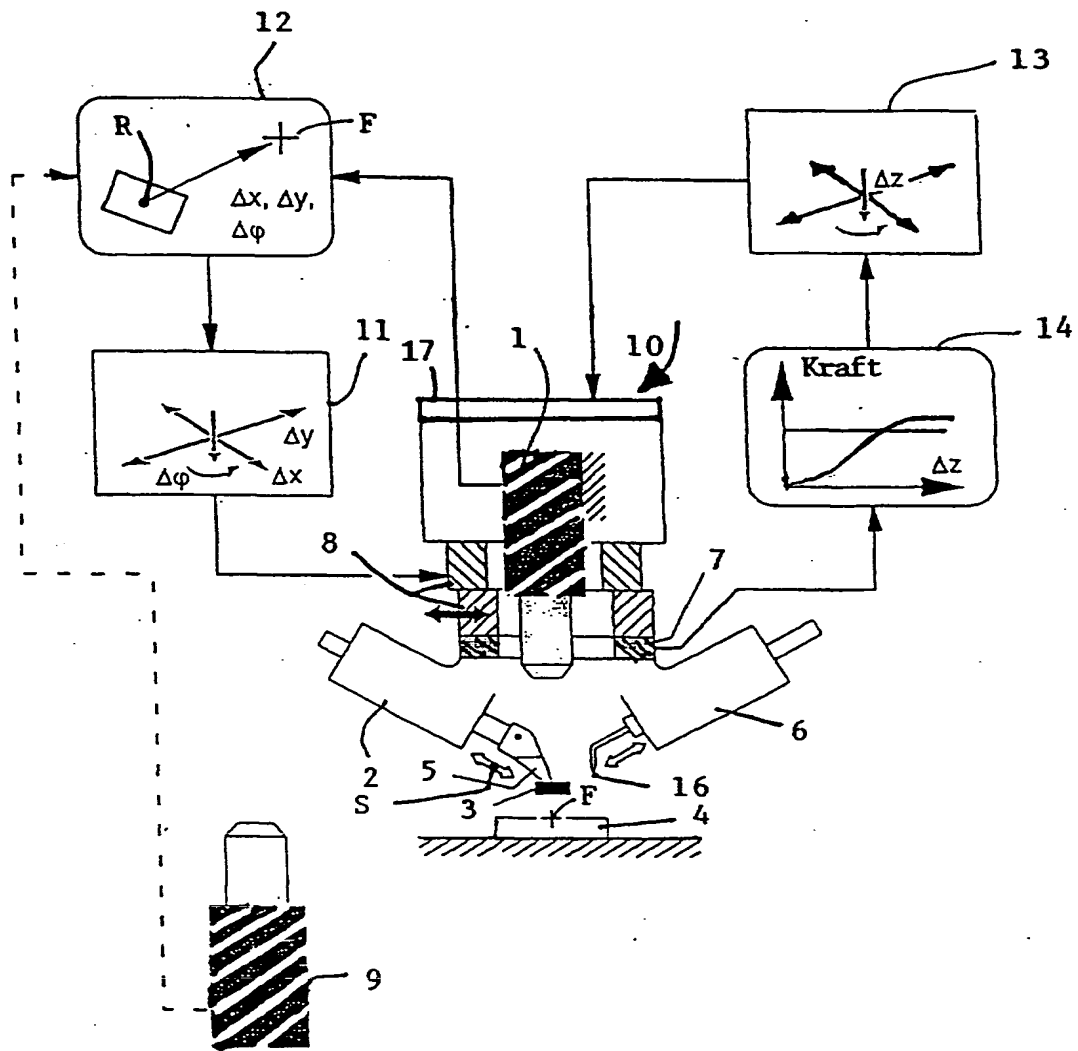


Fig. 1

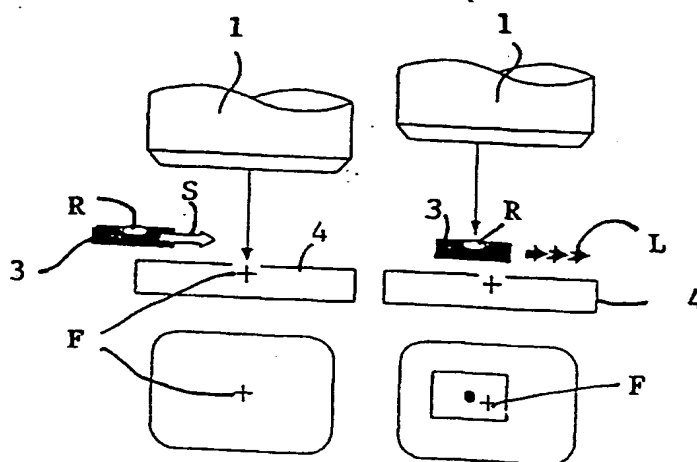


Fig. 2

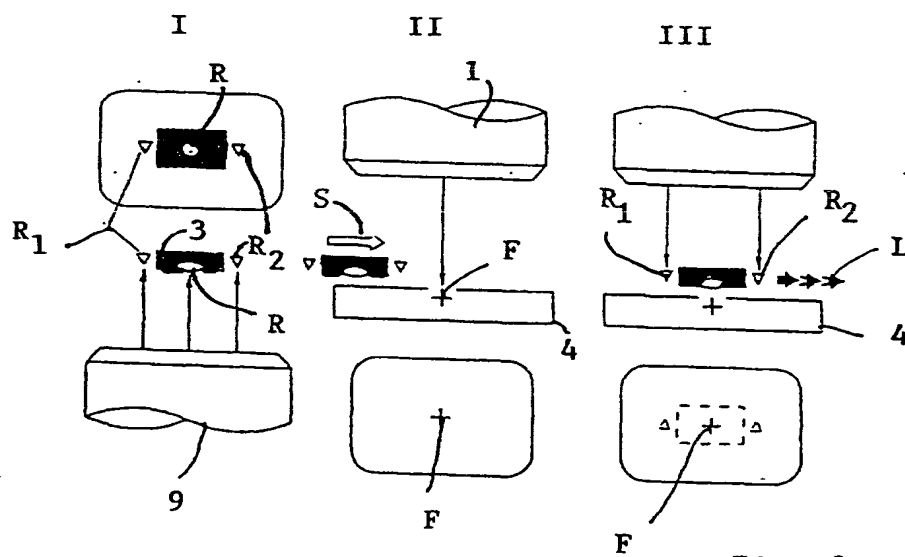


Fig. 3



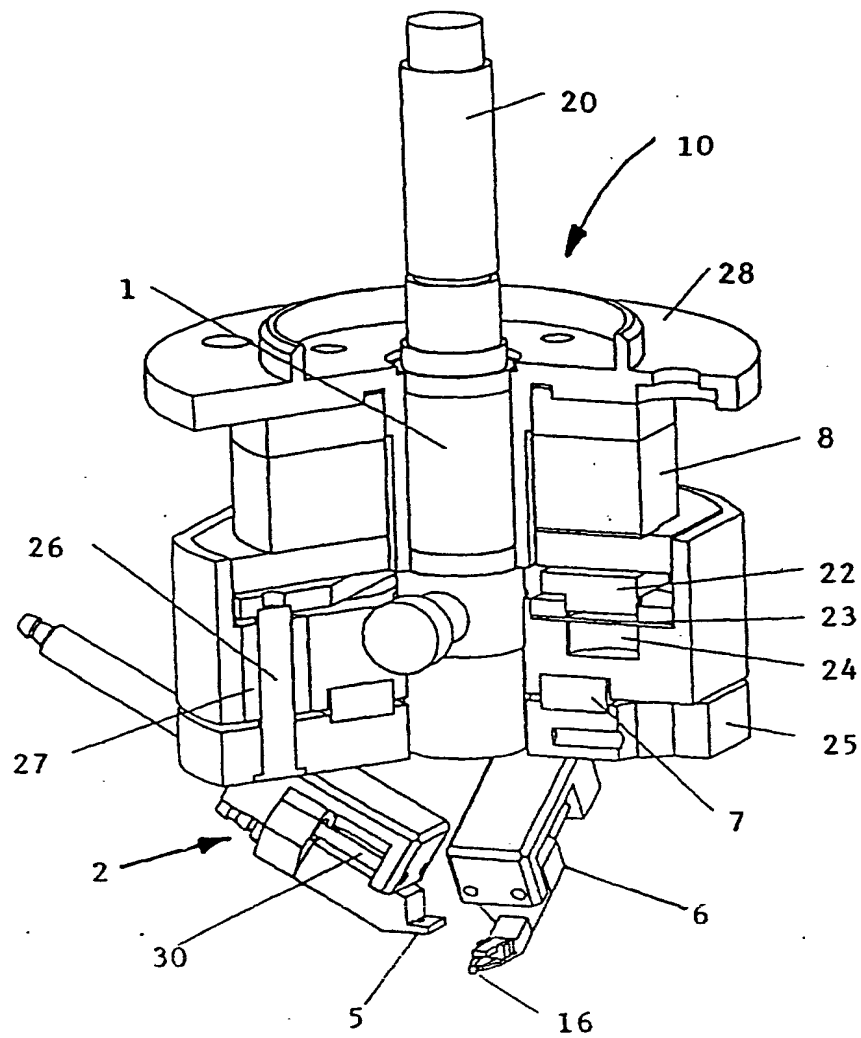


Fig. 4

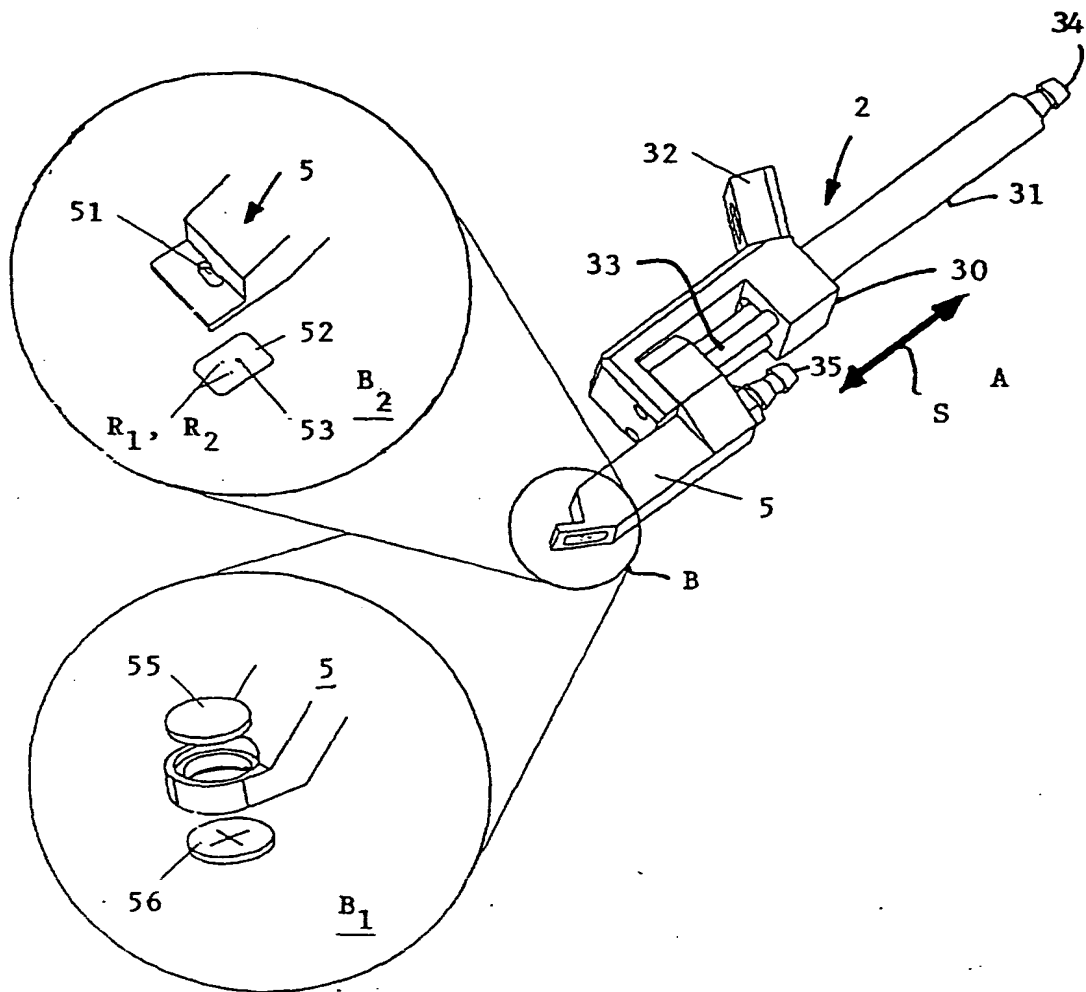


Fig. 5